APLICACIONES FOLIARES DE NITRATO DE CALCIO EN LA MADURACIÓN Y DAÑOS POR FRÍO EN AGUACATE 'FUERTE'

L. Saucedo-Hernández[1]; M. T. Martínez-Damián[1¶]; M. T. Colinas-León[1]; A. F. Barrientos-Priego[1]; J. J. Aguilar- Melchor[2].

[1]Posgrado en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. C. P 56230. MÉXICO. Correo-e: teremd@taurus1.chapingo.mx ([¶]Autor responsable).

[2]Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C. Ignacio Zaragoza Núm. 6, Coatepec Harinas, Estado de México. C. P. 51700. MÉXICO.

RESUMEN

Con la finalidad de estudiar el efecto del calcio sobre la poscosecha de frutos de aguacate, árboles del cv. 'Fuerte' se asperjaron con $Ca(NO_3)_2$ al 0, 0.3 y 0.5 %. Se realizaron seis aplicaciones precosecha a partir del 4 de mayo del 2001, la cosecha se realizó en enero del 2002, una vez cosechados los frutos se almacenaron a temperatura ambiente y a 5 °C por cinco semanas, realizando evaluaciones a las 0, 3 y 5 semanas. Los resultados obtenidos indicaron que existió un incremento en el contenido de calcio en cáscara y pulpa en los frutos de aguacate tratados con nitrato de calcio. Las aplicaciones precosecha de nitrato de calcio al 0.3 y 0.5 % mejoraron la firmeza y redujeron la pérdida de peso de los frutos siendo diferentes al testigo, así también diminuyó la producción de CO_2, etileno y daños por frío.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Persea americana* Mill., $Ca(NO_3)_2$, poscosecha, refrigeración, calidad.

CALCIUM NITRATE FOLIAR SPRAYS IN THE RIPENING AND CHILLING INJURY OF 'FUERTE' AVOCADO

ABSTRACT

In order to study the effect of calcium on post-harvest of avocado fruits, cv. Fuerte trees were sprayed with $Ca(NO_3)_2$ at 0, 0.3 y 0.5 %. Six pre-harvest applications were performed from 4 May 2001, harvest was carried out on January of 2002, once fruits were harvested, they were stored at room temperature and at 5 °C for five weeks, making evaluations at 0, 3 and 5 weeks. The results obtained indicated an increase in skin and pulp calcium content of avocado fruits treated with calcium nitrate. Pre-harvest applications of calcium nitrate at 0.3 and 0.5 % improved fruit firmness and reduced fruit weight loss when compared to the control; likewise there was a decrease in CO_2 , ethylene and cold damage.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Persea americana* Mill., $Ca(NO_3)_2$, post-harvest, refrigeration, quality.

INTRODUCCIÓN

La exportación de aguacate implica una serie de problemas postcosecha, debido a que este tiene una vida de anaquel limitada; por lo que para exportarlo es necesario prolongar el periodo de almacenamiento mediante el uso de técnicas como la refrigeración (Solís-Fraire *et al.,* 1998). La principal limitante para la aplicación de las temperaturas de refrigeración es la aparición de daños por frío ("chilling injury"), desorden fisiológico que afecta inicialmente la integridad y el funcionamiento de las membranas celulares, dando un cambio del estado físico de los ácidos grasos presentes en esta, de líquido cristalino a gel sólido, demeritando la calidad del producto. En el caso de los frutos de aguacate, al igual que en otros frutos tropicales y subtropicales, la relación tiempo de exposición-temperatura, esta asociada a la incidencia de daños por frío, ya que algunos cultivares presentan mayor sensibilidad que otros, de ahí que las condiciones de almacenamiento recomendadas sean muy diferentes, aspecto que además se ve influenciado por factores como: grado de madurez, estado nutrimental y condiciones agroclimatológicas de desarrollo (Saucedo, 1991). Desde hace varios años se han venido realizando una serie de estudios en los que se ha puesto de manifiesto la influencia del calcio (Ca) en el control de la maduración de diversos frutos (Ferguson, 1984), así mismo se ha establecido una estrecha correlación entre el contenido de Ca y la sensibilidad de estos a diversos desórdenes fisiológicos y patológicos como el daño por frío, mancha amarga en manzana,

Recibido: 12 de noviembre, 2002
Aceptado: 10 de septiembre, 2004

corazón negro en apio, pudrición del extremo floral en sandía, rajaduras en tomate, mancha corchosa de la pera, ablandamiento peduncular del aguacate, rajaduras de crecimiento en cerezo, ablandamiento terminal en mango, los cuales se ven considerablemente reducidos con niveles adecuados de Ca (Shear, 1975). El calcio es uno de los elementos indispensables para mantener la integridad y estabilidad de la pared y membrana celular (Poovaiah, 1988). Por otra parte, se ha encontrado que la deficiencia de este elemento causa algunos desórdenes postcosecha en aguacate (Swarts, 1984). Sin embargo, el calcio es uno de los nutrimentos de baja movilidad en los tejidos vegetales, se hace necesario desarrollar métodos para incrementar su penetración en las hojas y su posterior transporte hacia el fruto, sin que las aspersiones foliares causen daños al follaje (Ginsberg, 1985). Se han realizado diversos estudios aplicando $Ca(NO_3)_2$ o $CaCl_2$ en precosecha o postcosecha sobre especies frutícolas y hortícolas con resultados satisfactorios para controlar desórdenes fisiológicos. Es por ello que en la presente investigación se plantearon realizar los objetivos siguientes: Evaluar el efecto de aplicaciones precosecha de $Ca(NO_3)_2$ sobre la calidad y fisiología postcosecha de aguacate 'Fuerte' a diferentes temperaturas de almacenamiento y evaluar los efectos de la aplicación de $Ca(NO_3)_2$ en la actividad de la polifenoloxidasa, así como de las variables físicas, bioquímicas y fisiológicas de frutos de aguacate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos utilizados para esta investigación fueron del cv. Fuerte obtenidos de una huerta ubicada en Coatepec Harinas, Estado de México, México, pertenecientes a la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C., la cual se localiza entre las coordenadas 99° 46' 38" de latitud oeste y 18° 46' 38" latitud norte; tiene una altitud de 2,240 m, el clima es C(w)w; templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 16 °C; precipitación media de 1,100 mm anuales (Solís-Fraire *et al*., 1998). Se realizaron aplicaciones foliares de nitrato de calcio en concentraciones de 0, 0.3, y 0.5 %; se adicionó adherente Atlox ($0.5\ ml \cdot litro^{-1}$). Las aspersiones fueron a punto de goteo con una aspersora de alta presión, se utilizaron 5 litros por árbol. Las aplicaciones se iniciaron el 4 de mayo del 2001, cuando el fruto presentaba un diámetro de 2 a 3 cm, se realizaron éstas cada seis semanas hasta el mes de diciembre (seis aplicaciones). El 28 de enero del 2002 se realizó la cosecha, posteriormente los frutos fueron trasladados al Laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente y a 5 ºC por cinco semanas. Para el caso de los frutos almacenados en refrigeración (5 °C), se realizaron evaluaciones a las tres y cinco semanas. Después de cada periodo de conservación (5 °C) los frutos se expusieron a temperatura ambiente (22 ºC) para evaluar el proceso de maduración. Se empleó un diseño completamente al azar y se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey con una $P \leq 0.05$. Se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistic Analysis System). Para la determinación del calcio se tomó muestra del exócarpio y del mesocarpio del fruto. El secado de las muestras se realizó en una estufa de aire forzado durante 72 h a 65 °C, posteriormente se procedió a moler la muestra. Se peso 0.5 g de la muestra y se colocó en un tubo de ensaye al cual se le adicionaron 10 ml de ácido nítrico concentrado más 2 ml de ácido perclórico y 1 ml de ácido sulfúrico concentrado, posteriormente se efectuó una digestión durante cinco horas. A la muestra que se obtuvo de la digestión se le adicionaron 10 ml de agua destilada, se filtró y aforó a 50 ml, el extracto obtenido se colocó en frascos y se tomó 1 ml al cual se le adicionó 1 ml de óxido de lantano más 8 ml de agua destilada (Chapman y Pratt, 1979). La evaluación del calcio se realizó por espectrofotometría de absorción atómica en un espectrofotómetro Varian modelo SpectrAA 220. La firmeza se evaluó con un penetrómetro digital Compact Gauge (Cole Palmer) montado en una prensa manual, la medición consistió en registrar la fuerza ejercida en newtons (N) durante la penetración del puntal en el fruto. La medición se hizo en la parte ecuatorial, eliminando parte de la cáscara del fruto. El porcentaje de pérdida de peso acumulada diaria, se determinó mediante la diferencia del peso inicial y final durante tiempo del experimento. El daño por frío se determinó por el método de Chaplin *et al*. (1982), se evaluó a partir de una porción representativa de la pulpa del mesocarpio, se formó una pasta macerada en un mortero de esta muestra, se tomó un gramo y se colocó en un tubo de ensaye, se le adicionaron 2 ml de metanol concentrado, 2 ml de agua destilada y 1.72 ml de cloroformo, se homogenizó toda la mezcla y se centrífugo a 10,000 x *g* durante 20 minutos. Después de centrifugar, la capa superior correspondió a la mezcla emulsificadora-extractora de cloroformo-metanol-agua más los compuestos fenólicos oxidados y la inferior a la materia no soluble en esta mezcla. Los cambios de tonos de la mezcla se evaluaron midiendo la absorbencia en un espectrofotómetro. Se utilizó una longitud de onda de 340 nm. La actividad de la polifenoloxidasa (PPO) se determinó mediante la metodología descrita por Lamikanra (1995) donde la enzima se extrajo a partir de 1 g de muestra congelada a –80 °C, la cual se colocó en un mortero congelado, se molió y posteriormente se agregaron 5 ml de buffer Tris-HCl 125 mM a pH = 7.0 con 1 % (p:v) de polivinilpirrolidona (PVP). El extracto se centrifugó a 10,000 x *g* por 10 minutos, se filtró y se realizó una segunda centrifugación por 10 minutos, el sobrante se utilizó para determinar la actividad de polifenoloxidasa, la reacción consistió en 1 ml de catecol + 10 µl del sobrenadante; se determinó el cambio de absorbencia en 1 minuto en un espectrofotómetro UV-VIS modelo (Perkin Elmer). Una unidad de la actividad de la enzima se presentó como un cambio de una unidad de absorbencia por minuto.

El etileno y CO_2 se estimarón por cromatografía de gases por el método estático, en un recipiente hermético

de volumen conocido se colocaron tres frutos por repetición, durante una hora se tomaron 7 ml del espacio de cabeza con una jeringa hipodérmica y se trasladaron a un vacuntainer (al vacio). Se tomó 1 ml del espacio del vacuntainer y se inyectó en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 Serie ll con columna empacada tipo abierta con capa porosa de sílica fundida (PLOT) y fase estacionaria poraplot Q de 27.5 cm de largo y 0.32 mm de diámetro interno, 0.45 mm de diámetro externo y 10 µm de grosor de la película y un detector de ionización de flama (FID) y otro de conductividad térmica. La temperatura del horno fue de 80 ºC y el detector de 150 ºC. El cromatógrafo se controló con un programa de cómputo que en el análisis mide la altura del pico de etileno y CO_2, y el área de la misma, mediante la cual se determinó la concentración en mg·litro^{-1} de cada uno de los componentes, se inyectaron como referencia etileno (INFRA) 10 mg·litro^{-1} y CO_2 (INFRA) 500 mg·litro^{-1}. En el cromatógrafo el gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 ml·min^{-1}.

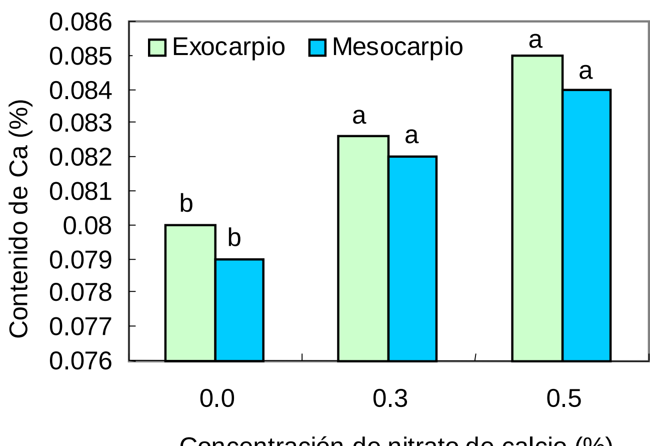


FIGURA 1. Contenido de calcio (%) en el exocarpio y mesocarpio de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas. Valores con la misma letra son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P≤0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de calcio del fruto

De acuerdo con el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas en el contenido de Ca en el exocárpio de aguacate 'Fuerte,' siendo los tratamientos con 0.3 y 0.5 % de calcio, superiores al testigo. Las cantidades de calcio obtenidas fueron de 0.080 % para el testigo, 0.0826 para el 0.3 % de calcio y 0.085 % para el tratamiento con 0.5 % de calcio (Figura 1). Con lo que respecta al Ca del mesocarpio, también se encontraron diferencias estadísticas, siendo nuevamente los tratamientos con 0.3 y 0.5 % calcio (0.082 y 0.084 % de Ca) superiores al testigo (0.079 % de Ca) (Figura 1). Los datos obtenidos indicaron que las aspersiones precosecha con nitrato de calcio incrementaron el contenido de calcio, tanto en cáscara como en pulpa, esto permitió que los frutos almacenados tanto en ambiente como en refrigeración se conservaran con una mejor calidad que los testigos. Hofman *et al.* (2002) mencionaron que el calcio ejerce un gran efecto en la calidad de las frutas al retardar la maduración, mejorar la firmeza, así como incrementando la resistencia de los frutos a diversos desórdenes fisiológicos. En el caso de los testigos, los resultados obtenidos coinciden con los descritos como normales por Haas (1937), quién reportó cantidades de 0.031 a 0.084 % en la pulpa basal y apical del cv. Fuerte, mientras que Witney (1985) reportó valores en 'Fuerte' de 0.070 a 0.114 % en árboles vigorosos y no vigorosos, respectivamente.

Firmeza

Los frutos tratados con calcio y almacenados a temperatura ambiente presentaron mayor firmeza, que los testigo. Se observó un incremento significativo en el ablandamiento en función de los días de evaluación, causado por el proceso de maduración del fruto, observando una drástica disminución en el día seis de evaluación (Figura 2). Al respecto se ha señalado que aplicaciones de calcio en precosecha inducen a un menor daño poscosecha de frutos almacenados preservando su apariencia externa e incrementando la firmeza del fruto (Cline y Hanson, 1992). También se ha reportado que aplicaciones de 10 mg·litro^{-1} de nitrato de calcio, incrementaron la firmeza de los frutos almacenados a 5 °C por 27 días, siendo estadísticamente superior al testigo, 30 mg·litro^{-1} de nitrato de calcio y caldo bordelés, presentando valores de firmeza de 121 N (López y Cajuste, 1996).

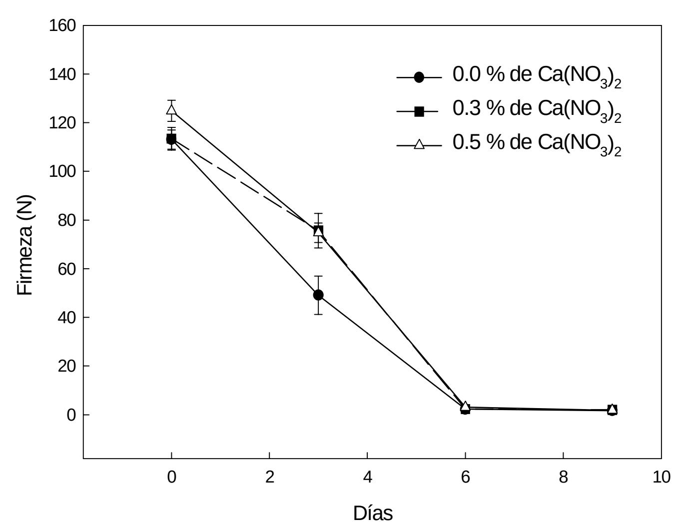


FIGURA 2. Firmeza (N) por día de evaluación en frutos aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 20 °C. Cada punto representa la media de nueve observaciones ± error estándar.

Se encontraron diferencias significativas en la firmeza de los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración (Cuadro 1), siendo el de 0.5 % de nitrato de calcio el mejor tratamiento en el día seis de evaluación; mientras que en los días cero y dos el tratamiento con 0.5 % de nitrato de calcio solo fue estadísticamente diferente al testigo. En los frutos de aguacate almacenados por cinco semanas de refrigeración (Cuadro 1) no se encontró diferencia estadística entre las dos concentraciones empleadas (0.3 y 0.5%), sin embargo, ambas fueron mejores que el testigo. En los frutos tratados con calcio tanto en tres como en cinco semanas de refrigeración la pérdida de firmeza se dio más lenta; en este sentido Herrero (1992), señaló que la presencia de calcio disminuye la pérdida de firmeza del fruto, ya que favorece la cohesión entre células, por lo cual su deficiencia en la lámina media puede contribuir al ablandamiento del fruto. Se observó que con el periodo de almacenamiento, el ablandamiento de los frutos fue mas rápido después de ser expuestos a 20 °C, por lo cual los frutos almacenados por tres y cinco semanas duraron menos días que los frutos almacenados en ambiente, lo que pudiera indicar una afectación en las enzimas que intervienen en la maduración, en este sentido Awad y Young (1979) mencionaron que incrementos en la producción de CO_2 están correlacionados con incrementos en la actividad de celulasa y el ablandamiento de la fruta; esto se observó en los frutos refrigerados, ya que presentaron una mayor producción de CO_2 en comparación con los almacenados a temperatura ambiente.

CUADRO 1. Firmeza por día de evaluación en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas, y posteriormente colocados a maduración a 20 ºC.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación a 20 ºC 0	2	4	6
3	0.0	104.71 b[z]	16.71 b	3.53 a	2.17 b
	0.3	108.91 ab	17.76 ab	4.50 a	2.78 b
	0.5	118.23 a	24.46 a	4.94 a	4.50 a
	DMSH	12.90	7.64	1.62	1.35
	CV (%)	9.91	33.05	32.04	36.34
5	0.0	101.57 a[z]	19.92 b	5.04 b	
	0.3	107.77 a	23.65 ab	6.10 ab	
	0.5	101.57 a	28.20 a	7.63 a	
	DMSH	18.62	8.12	1.93	
	CV (%)	14.72	28.83	28.28	

[z]Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.
DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

Pérdida de peso

Analizando los datos de porcentaje de pérdida de peso por día de evaluación en los frutos de almacenados a temperatura ambiente, se obtuvo que a medida que pasaron los días las pérdidas de peso fueron mayores. En el día tres el tratamiento con 0.5 % de calcio fue diferente al testigo y en el nueve de evaluación, los mejores tratamientos fueron el de 0.3 y 0.5 % de calcio (Figura 3). La pérdida de agua de los frutos es una de las principales causas del deterioro, ya que no solamente se relacionan con pérdidas de peso, sino con la textura y con la calidad nutricional (Kader, 1999).

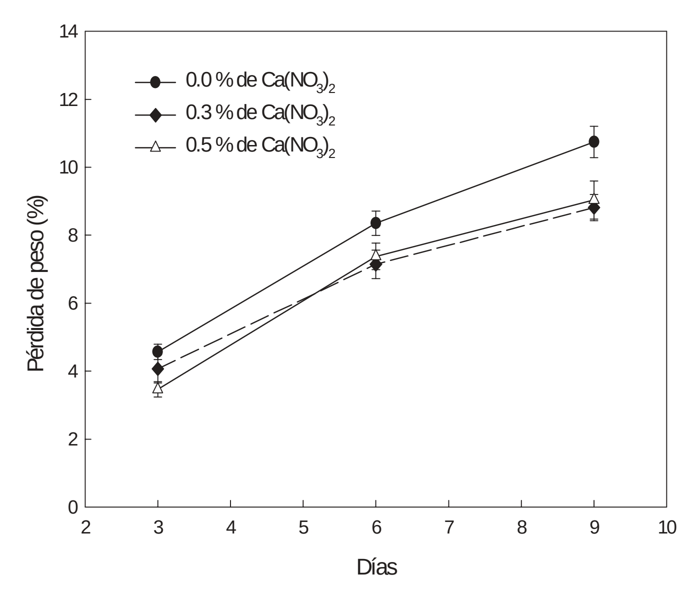


FIGURA 3. Pérdida de peso (%) por día de evaluación en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 20 °C. Cada punto representa la media de diez observaciones ± error estándar.

Al comparar los datos de porcentaje de pérdida de peso por fecha de evaluación en los frutos almacenados en refrigeración durante tres semanas, se pudo observar que para los días cero y dos de evaluación, el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio (Cuadro 2), en los otros días de evaluación los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio, los cuales fueron diferentes al testigo. En los frutos almacenados por 5 semanas tanto en los días 0 y 2 el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de nitrato de calcio (Cuadro 2). Tanto en tres como en cinco semanas en refrigeración, a medida que trascurrieron las fechas de evaluación las pérdidas de peso fueron mayores en todos los tratamientos, debido a la pérdida de agua por transpiración de los frutos.

Daños por frío

Al analizar la variable daños por frío, en los frutos almacenados por tres semanas en refrigeración, se pudo observar que solo existieron diferencias significativas el día cero de evaluación, siendo mejor tratamiento el de 0.5 % de calcio (Cuadro 3). Para los frutos almacenados durante cinco semanas, se detectaron diferencias significativas entre tratamientos el día dos de evaluación, siendo mejores los de

CUADRO 2. Pérdida de peso (%) por día de evaluación, en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas, y posteriormente colocados a maduración a 20 ºC.

Semanas	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación a 20 ºC			
		0	2	4	6
3	0.0	3.99 a[z]	7.52 a	10.93 a	13.99 a
	0.3	3.17 b	6.39 b	9.26 b	10.62 b
	0.5	1.62 c	4.77 c	8.05 b	10.63 b
	DMSH	0.64	0.98	1.35	1.69
	CV (%)	19.75	14.29	12.99	12.63
5	0.0	7.18 a[z]	11.16 a	14.62 a	
	0.3	6.26 a	6.26 a	12.81 ab	
	0.5	4.95 b	8.36 b	11.74 b	
	DMSH	1.16	1.71	1.96	
	CV (%)	17.07	17.64	13.54	

[z]Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.
DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

0.3 y 0.5 % de calcio, respectivamente. Eaks (1980), observó que los frutos de aguacate 'Fuerte' frigoconservados a 5 y 0 °C presentaron daños por frío a partir de la primera semana de conservación, el daño fue evidente al transferirlos a 20 °C. Los tratamientos con calcio disminuyeron los daños por frío en los frutos de aguacate 'Fuerte', donde se encontró que los frutos presentaron mayores niveles de calcio tanto en cáscara como en pulpa. Shear (1975) señaló que desórdenes como el daño por frío, se ven considerablemente reducidos en productos con alto contenido de calcio. Los efectos de los daños por frío en frutos de aguacate como producto de un periodo de almacenamiento son a nivel de membrana, provocando la ruptura de la misma y un desorden celular que se manifiesta en la pérdida de firmeza de los frutos. Resultados similares se observaron en los frutos que no fueron tratados con calcio y almacenados en refrigeración al presentar un mayor daño por frío y una pérdida de firmeza mayor (Witney *et al.*, 1990).

CUADRO 3. Daño por frío medido como absorbencia (a 350 nm) por día de evaluación en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas, y después colocados a maduración a 20 ºC.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación a 20 ºC			
		0	2	4	6
3	0.0	2.59 a[z]	1.58 a	2.66 a	3.26 a
	0.3	1.63 b	1.21 a	2.39 a	2.95 a
	0.5	1.09 c	1.36 a	2.60 a	3.26 a
	DMSH	0.44	0.47	0.73	0.42
	CV (%)	9.97	13.73	11.45	5.50
5	0.0	2.48 a[z]	2.20 a	2.03 a	
	0.3	2.39 a	1.25 b	1.96 a	
	0.5	2.12 a	1.10 b	1.93 a	
	DMSH	0.35	0.47	0.12	
	CV (%)	6.14	12.41	2.59	

[z]Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.
DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Actividad de la enzima polifenoloxidasa (PPO)

Al analizar los datos por fecha de evaluación en los frutos almacenados a temperatura ambiente se pudo observar que sólo existieron diferencias entre tratamientos en el día tres de evaluación, en donde los mejores tratamientos fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio, los cuales tuvieron menor actividad de la PPO (Figura 4). Los frutos testigo tuvieron una mayor actividad de la polifenoloxidasa, y por ende un mayor potencial de oscurecimiento, ya que como mencionaron Kader and Chordas (1984) y Bower *et al*. (1990), el potencial de oscurecimiento depende de la cantidad total de compuestos fenólicos y de los niveles de actividad de la polifenoloxidasa EC 1.14.18.1, enzima que cataliza el oscurecimiento enzimático.

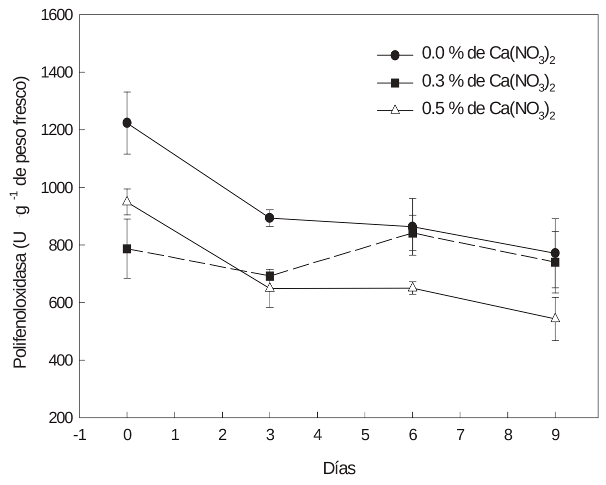


FIGURA 4. Actividad de polifenoloxidasa (U·g^{-1}de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 20 ºC. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

La actividad de la polifenoloxidasa presentó diferencias en los días cuatro y seis de evaluación a 20 ºC, previo almacenamiento por tres semanas a 5 ºC, siendo los mejores tratamientos los frutos pretratados con calcio (Cuadro 4). En la evaluación de cinco semanas se detectaron diferencias entre tratamientos, para los días cero y cuatro a 20 ºC, donde el mejor tratamiento fue el de 0.5 % de calcio y para el día dos de evaluación fueron los de 0.3 y 0.5 % de calcio (Cuadro 4). En general se encontró que los frutos tratados con calcio presentaron una menor actividad de la enzima polifenoloxidasa, ya que como se ha señalado, el papel del calcio es mantener los frutos de

CUADRO 4. Actividad de polifenoloxidasa ($U \cdot g^{-1}$de peso fresco) por día de evaluación en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas, almacenados a 5 °C por 3 y 5 semanas, y después colocados a maduración a 20 ºC.

Semana	Concentración de nitrato de calcio (%)	Días de evaluación a 20 °C 0	2	4	6
3	0.0	1,260.4 a[z]	1,367.8 a	1,048.91 a	1,636.8 a
	0.3	1,217.4 a	1,300.3 a	422.55 b	878.0 b
	0.5	875.9 a	1,163.9 a	303.89 b	526.3 b
	DMSH	418.55	689.64	128.57	469.26
	CV (%)	14.94	21.55	8.67	19.78
5	0.0	1,581.1 a[z]	1,750.9 a	1,743.2 a	
	0.3	1,027.2 b	854.6 b	1,119.6 b	
	0.5	547.6 c	573.4 b	707.4 c	
	DMSH	452.75	526.87	395.7	
	CV (%)	17.81	19.84	13.27	

[z]Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.
DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación

aguacate de buena calidad, particularmente después de un periodo de refrigeración; es debido a que mantiene una separación entre la enzima polifenoloxidasa y el sustrato fenólico localizado en la vacuola (Bower y Cutting, 1988).

Producción de etileno

El comportamiento de la producción de etileno de los frutos almacenados a temperatura ambiente, mostró que el testigo alcanzó su máximo de producción el día 6 de evaluación, presentando un máximo de 88.64 $ml \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ mientras que en los tratamientos con 0.3 y 0.5 % de calcio fue el día 5, con valores máximos de 55.92 y 64.85 $ml \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$, respectivamente, lo que representó 36 y 26 % menos comparado con el testigo (Figura 5). El calcio es el principal catión que se relaciona con la disminución de producción de etileno de los frutos, debido a que al formar parte de la lámina media disminuye la pérdida de integridad de las células, reduciendo la senescencia de los frutos (Conway y Sams, 1993).

A pesar que el pico de producción de etileno se diera el mismo día en los tres tratamientos en los frutos almacenados por 3 semanas y posteriormente colocados a maduración a 20 ºC, el pico máximo para los testigo fue mayor. Eaks (1985), señaló que incrementos en el contenido de calcio en frutos de aguacate, retardan la senescencia al disminuir la respiración y producción de etileno en el pre y pos climaterio, por consecuencia disminuyen los días para alcanzar la madurez de consumo (Figura 6).

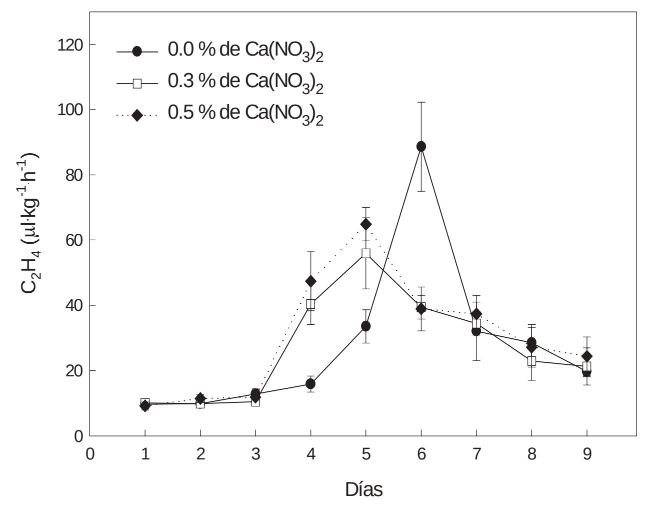


FIGURA 5. Producción de etileno (C_2H_4) en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados a 20 ºC. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

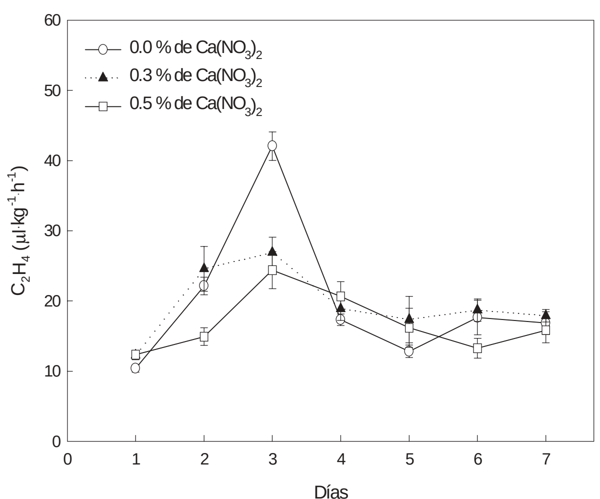


FIGURA 6. Producción de etileno (C_2H_4) en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por tres semanas, y puestos a maduración a 20 ºC. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

Los frutos tratados con 0.5 % de calcio almacenados por cinco semanas en refrigeración y puestos a maduración a 20 ºC, presentaron menores niveles de producción de etileno (Figura 7), comportamiento que se asocia con los niveles de calcio que presentaron los frutos, ya que estos fueron estadísticamente diferentes a el de los testigos; en este sentido, Witney (1985) señaló que el calcio afecta el porcentaje de maduración de los frutos al mantener la integridad de los tejidos, debido a la producción de etileno. Los frutos almacenados en refrigeración, presentaron su máximo en la producción de etileno tres días antes en comparación con los frutos almacenados a temperatura ambiente, esto puede ser explicado por el hecho de que las bajas temperaturas provocan un estrés que impiden que se forme etileno, pero no la síntesis de ACC, una vez que se saca el producto de refrigeración se forma el etileno más rápidamente (Wang, 1982).

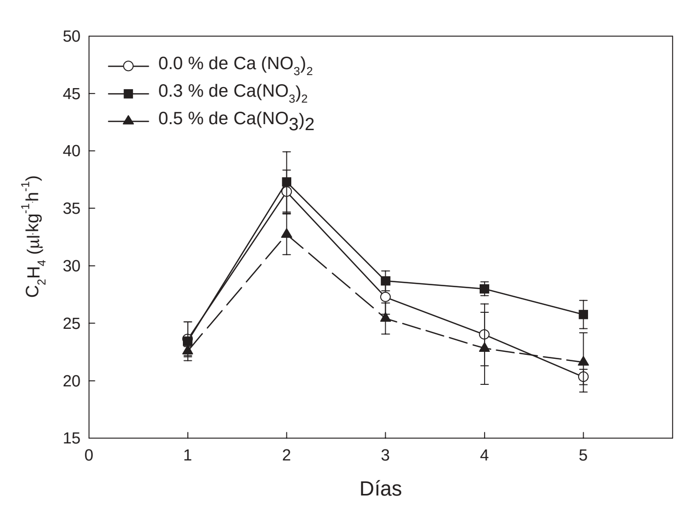


FIGURA 7. Producción de etileno (C_2H_4) en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por cinco semanas, y colocados a maduración a 20 ºC. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

Respiración

Los frutos almacenados a temperatura ambiente, presentaron un aumento en la producción de CO_2 que alcanzó su máximo para el caso de los frutos testigo el día seis de evaluación, mientras que para los frutos con 0.3 y 0.5 % de calcio su máximo se presentó el día seis y siete, respectivamente (Figura 8). Se puede apreciar que el patrón respiratorio obtenido en los frutos almacenados a temperatura ambiente y tratados con 0.5 % de calcio, fue menor que el de el tratamiento testigo en la mayoría de las evaluaciones, en este sentido se ha señalado que existe una correlación positiva entre el contenido de calcio de los frutos y el porcentaje de respiración, explicado por el hecho de que al incrementarse la permeabilidad de membranas se da la compartamentalización entre la vacuola y el citoplasma, permitiendo que el sustrato se una a enzimas de larespiración (Ferguson, 1984).

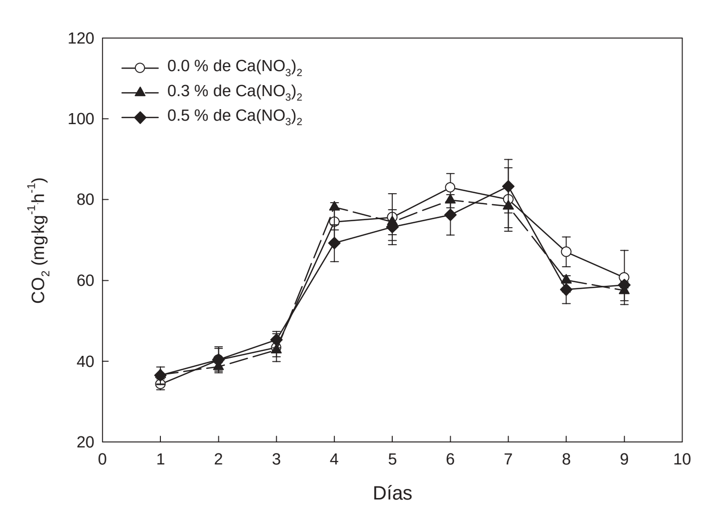


FIGURA 8. Respiración (C_2) en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados a 20 ºC. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

El comportamiento respiratorio de los frutos almacenados durante tres semanas en refrigeración a 5 °C mostraron que el testigo como los tratamientos con calcio alcanzaron su máximo de CO_2 tres días después de ser transferidos a 20 °C, siendo el tratamiento con 0.5 % de calcio el que presentó el menor valor (85.84 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ de CO_2), lo que representó un 18 % menos comparado con el máximo de los frutos testigo (Figura 9). Se obtuvo que los frutos mantenidos en refrigeración mostraron una mayor producción de CO_2 que los frutos almacenados a 20 °C, en este sentido Lyons (1972), señaló que diversos productos hortofrutícolas conservados a temperaturas críticas tienden a incrementar su tasa de respiración al transferirlos a una mayor temperatura, el mecanismo de estimulación es desconocido pero se sugiere que es debido

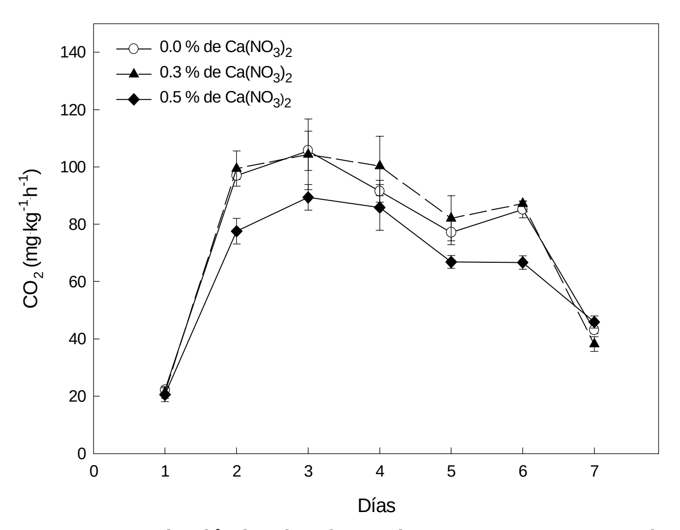


FIGURA 9. Respiración (CO_2) en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por tres semanas y colocados a maduración a 20 ºC. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

a un desacoplamiento de la fosforilación oxidativa. Los frutos tratados con 0.5 % de calcio presentaron los menores niveles de producción de CO_2, al respecto Herrero (1992) señaló que la presencia de calcio disminuye la respiración, retarda el pico climatérico del fruto y también la pérdida de firmeza del mismo.

Los frutos testigo almacenados por cinco semanas en refrigeración y después puestos a maduración a 20 ºC, presentaron sus máximos de CO_2 dos días después de ser transferidos a 20 °C, mientras que en los frutos con 0.3 y 0.5 % de calcio fue tres días después (Figura 10). Los resultados obtenidos mostraron que los aguacates refrigerados incrementaron de inmediato su tasa respiratoria al ser expuestos a 20 ºC, esto representó un adelanto del punto máximo de climaterio de cuatro días, con respecto al testigo almacenado a 20 °C y de tres días con respecto a los tratamientos con calcio, bajo la misma condición (Figura 10). Hofman *et al.* (2002) mencionó que algunos de los eventos más obvios del proceso de maduración en aguacate son el ablandamiento de la pulpa, el cual es precedido por eventos como incrementos en la respiración y producción de etileno.

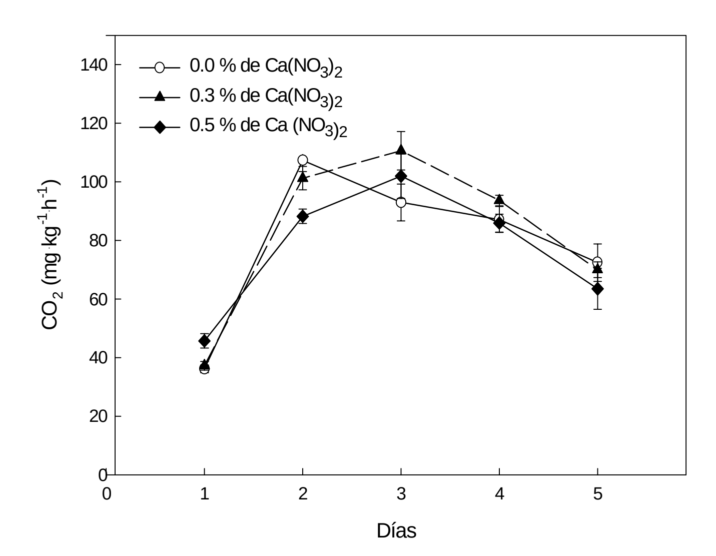


FIGURA 10. Respiración (CO_2) en frutos de aguacate 'Fuerte' tratados con seis aspersiones precosecha de nitrato de calcio cada seis semanas y almacenados en refrigeración a 5 °C por cinco semanas, y colocados a maduración a 20 ºC. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

CONCLUSIONES

Los frutos de aguacate 'Fuerte' pretratados con calcio y almacenados tanto en ambiente como en refrigeración, disminuyeron el porcentaje de pérdida de peso y firmeza. La producción de CO_2, etileno, actividad de la enzima polifenoloxidasa y los daños por frío, disminuyeron en postcosecha al pretratar en precosecha los frutos de aguacate con calcio.

LITERATURA CITADA

AWAD, M.; YOUNG, R. E. 1979. Postharvest variation in cellulase, polygalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Fuerte) fruit in relation to respiration and ethylene production. Plant Physiology 64: 306-308.

BOWER, J. P.; CUTTING, J. G. M. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. Horticultural Reviews 10: 229-271.

BOWER, J. P.; CUTTING, J. G. M.; TRUTER, A. B. 1990. Container atmosphere, as influencing some physiological browning mechanisms in stored Fuerte avocados. Acta Horticulturae 269: 315-321.

CHAPLIN, G. R.; WILLS, R. B. H.; GRAHAM, D. 1982. Objective measurement of chilling injury in the mesocarp of stored avocados. HortScience 17(2): 238-239.

CHAPMAN, H. D.; PRATT, P. F. 1979. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Ed. Trillas. D.F., México. pp. 67-70.

CLINE, A. J.; HANSON, A. E. 1992. Relative humidity around apple fruit influences its acumulation of calcium. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 542-546.

CONWAY, W. S.; SAMS, C. E. 1993. Reduction of storage decay in apples by postharvest calcium infiltration. Acta Horticulturae 326: 115-121.

EAKS, I. L. 1980. Effects of chilling on respiration and volatiles of California lemon fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 865-869.

EAKS, I. L. 1985. Effect of calcium on ripening, respiratory rate, ethylene production, and quality of avocado fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110(2): 145-148.

FERGUSON, I. B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. Plant Cell and Environment 7: 477-489.

GINSBERG, L. 1985. Postharvest physiological problems of avocado. South African Avocado Growers' Association Yearbook 8: 8-11.

HAAS, C. R. 1937. Chemical composition of avocado fruits. Calif. Avocado Assoc. Ybk. pp. 140-142.

HERRERO, A. 1992. Conservación de Frutos. Manual Técnico. Ed. Mundi-Prensa. D. F., México. pp. 48-51.

HOFMAN, P. J.; FUCHS, Y.; MILNE, D. L. 2002. Harvesting, packing, postharvest technology, transport and processing, pp. 363-401. *In*: The Avocado: Botany, Production and Uses. WHILEY, A. W.; SCHAFFER, B.; WOLSTENHOLME, B. N. (eds.). CAB International Publishing. New York, USA.

KADER, A. A. 1999. Fruit maturity, ripening and quality relationships. Acta Horticulturae 485: 203-208.

KADER, A. A.; CHORDAS, A. 1984. Evaluating the browning potential of peaches. California Agriculture 38: 3-4.

LAMIKANRA, O. 1995. Enzimatic browning of muscadine grapes products, pp. 166-177. *In:* Enzimatic Browning and its Prevention. LEE, C. Y.; WHITAKER, J. R. (eds.) ACS. Washington D. C., USA.

LÓPEZ L., L.; CAJUSTE B., J. F. 1996. Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate 'Fuerte'. Memorias de la Fundación Sánchez Colin-CICTAMEX, S. C. Coatepec Harinas, México. pp. 23-29.

LYONS, J. M. 1972. Phase transitions and control of cellular metabolism at low temperatures. Cryobiology 98: 341-350.

POOVAIAH, B. W. 1988. Molecular and cellular aspects of calcium action in plants HortScience 23(2): 267-271.

SAUCEDO V., C. 1991. Tecnologías de conservación del aguacate preventivas a daños por frío y almacenamiento. Memorias

del Seminario Internacional del Aguacate. Poscosecha y Comercialización. FIRA. Del 1 al 4 de agosto de 1990. Uruapan Michoacán, México. pp. 75-85.

SHEAR, C. B. 1975. Calcium related disorders of fruits and vegetables. HortScience 10(4): 361-365.

SOLÍS-FRAIRE, J. J.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; PÉREZ-MERCADO, C. A.; RUBÍ-ARRIAGA, M.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M. T.; REYES-ALEMÁN, J. C. 1998. Aplicaciones de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Hass. Revista Chapingo Serie Horticultura 4(2): 113-117.

SWARTS, D. H. 1984. Post harvest problems of avocados, let's talk the same language. South African Avocado Growers' Association Yearbook 7: 15-19.

WANG, Y. C. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. HortScience 17(2): 173-186.

WITNEY, G. 1985. Study of calcium budget of an avocado (*Persea americana* Mill.) orchard. Thesis of Master Degree. University of Natal. Pietermaritzburg, South Africa. 132 p.

WITNEY, G. W.; HOFFMAN, P. J.; WOLSTENHOLME, B. N. 1990. Mineral distribution in avocado trees with reference to calcium cycling and fruit quality. Scientia Horticulturae 44: 279-291.